



L'ORIGINE DE LA VIE. L'APPARITION DES DIFFÉRENTS TYPES CELLULAIRES

La diversité des cellules actuelles, que nous avons analysée dans les chapitres précédents, et celle des organismes, que nous enseignent la microbiologie, la botanique et la zoologie, est le résultat d'une évolution de plus de trois milliards d'années. Dès les premières lignes de cet ouvrage, nous nous sommes interrogés sur les notions de vie et d'être vivant et avons énoncé les caractéristiques principales permettant de définir ces termes. Nous allons, dans ce chapitre de conclusion, apporter quelques précisions relatives à la question des origines qui avait alors été simplement posée.

Pour répondre aux multiples questions que soulève l'apparition de la vie et des cellules, deux démarches sont adoptées par les chercheurs. La première, qui part des origines, est expérimentale et cherche à reconstituer les étapes initiales de l'apparition des systèmes vivants, en simulant les conditions rencontrées sur la Terre primitive ; cette **démarche** est dite **constructiviste**. La seconde, qui part du présent, est celle des « paléontologues moléculaires » ; elle analyse les structures génétiques communes à tous les êtres vivants actuels et reconstitue leur histoire évolutive, à partir de « **fossiles moléculaires** » conservés dans les génomes. Il s'agit ici, avec les outils des évolutionnistes, de remonter le temps aussi loin que possible, pour comprendre le fonctionnement des ancêtres des cellules modernes. Ces deux approches peuvent-elles se rejoindre, et mieux encore se recouvrir ?

Il faut reconnaître qu'à l'heure actuelle subsiste encore une vaste *terra incognita* entre les domaines qu'elles étudient. Si l'on dispose en effet de nombreuses données fiables sur l'apparition de la matière organique sur la Terre primitive, d'une

part, et sur l'évolution récente des cellules (en particulier l'origine des cellules eucaryotiques) et des êtres vivants en général, d'autre part, la transition entre le non-vivant et le vivant reste essentiellement l'objet de spéculations plus ou moins fondées.

1. HISTOIRE DE LA VIE SUR LA TERRE

1.1. Données de la géologie

Notre planète s'est formée par accréation de poussières interstellaires, en même temps que le reste du système solaire, il y a 4,6 milliards d'années. Pendant une période qui a duré sans doute 500 millions d'années, la Terre a commencé par se refroidir, à dégazer son noyau en fusion (constituant ainsi son atmosphère primitive), et à mettre en place ses premiers continents et océans. Durant tout ce temps, elle a connu un volcanisme important et un bombardement très intense par une multitude d'astéroïdes de grande taille qui sillonnaient encore l'espace. Les roches sédimentaires les plus anciennes (trouvées au Groenland) sont âgées de 3,8 milliards d'années. Diverses données fournies par les géologues permettent de dater, avec une bonne précision, l'origine de la vie sur la Terre.

La plus ancienne matière organique connue, qui contient des hydrocarbures, des porphyrines, des purines, etc., s'est déposée dans des roches sédi-

mentaires, il y a environ 3,3 milliards d'années. L'origine biologique de cette matière est attestée par l'étude du rapport isotopique du carbone qu'elle contient et confirmée par l'observation, dans ces sédiments, de structures morphologiquement apparentées à des Procaryotes actuels. Il s'agit donc des plus anciens microfossiles connus, et cette observation démontre que la vie est apparue à une date antérieure, estimée à – 3,6 milliards d'années. Si l'on considère que la période initiale de formation de la Terre était incompatible avec l'émergence de la vie en raison de la température élevée de sa surface, on conclut que les processus qui ont conduit à l'apparition des premières cellules se sont échelonnés sur moins de 500 millions d'années. La durée de cette **période** dite **prébiotique** semble étonnamment courte, comparée à l'échelle des temps géologiques, et conduit à penser que la vie est bien un phénomène inéluctable qui se manifeste dès que des conditions appropriées sont remplies.

1.2. Données de la paléontologie

On connaît d'abondantes structures de type biologique dans des constructions organominérales fossiles d'aspect feuilleté, en forme de colonnes, appelées **stromatolithes**, dont les plus anciens sont datés de – 3,5 à – 3 milliards d'années. Sur des coupes fines, on y observe des micro-organismes morphologiquement identifiables à des Bactéries modernes, parmi lesquelles des Cyanobactéries typiques. Ces strates constituent des associations d'organismes photosynthétiques autotrophes associés à d'autres, sans doute hétérotrophes et dépendants des premiers. Cette analyse s'appuie sur le fait que des stromatolithes se forment, encore à notre époque, dans certaines zones côtières chaudes d'Australie, et présentent exactement les mêmes caractéristiques de taille, d'organisation interne et de microflore que celles des fossiles. Les Cyanobactéries, qui sont des Procaryotes complexes (voir chapitre 2), étaient donc représentées dès les débuts du monde vivant. Nous verrons plus loin comment la prolifération de ces organismes photosynthétiques a modifié l'atmosphère terrestre et a contribué à bouleverser l'écologie de la planète, entre – 2 et – 1 milliard d'années.

Une nouvelle catégorie de microfossiles apparaît brusquement, il y a environ 1,4 milliard d'années. Ces organismes unicellulaires, 10 à 100 fois plus grands que les précédents, possèdent des traits

d'organisation interne suggérant qu'il s'agit des plus anciennes cellules eucaryotiques identifiées (**Acritarches**). On les observe dans des sédiments variés, et ils présentent un maximum de diversification de leurs formes vers – 800 millions d'années (phénomène de radiation évolutive). L'étape suivante dans l'histoire de la vie est l'apparition des premiers organismes pluricellulaires à caractère animal, dont on retrouve les traces dans des roches âgées de 670 millions d'années (**faune d'Ediacara**). On reconnaît déjà à cette époque des formes à corps mou rappelant des Invertébrés actuels : Méduses, Vers et Arthropodes nus. C'est vers – 550 millions d'années (Cambrien) que se développe une faune abondante et diversifiée d'Animaux à coquilles ou carapaces, dont les restes fossiles sont alors bien préservés (**faune de Burgess**). Il est remarquable de constater que l'acquisition de la pluricellularité et du coelome est un processus qui a demandé moins de 100 millions d'années pour se réaliser.

Cette brève chronologie montre que la vie s'est tout d'abord manifestée sous la forme d'êtres de type procaryotique pendant 2 milliards d'années, avant que les Eucaryotes unicellulaires n'apparaissent. Les possibilités d'évolution des Procaryotes pendant cette longue période sont donc considérables et le fossé qui les sépare des Eucaryotes actuels est énorme, d'où les difficultés qui en découlent pour reconstituer l'histoire initiale du monde vivant. Il faut ajouter que l'on ne retrouvera pas forcément de traces fossiles de tous les micro-organismes de cette époque, en particulier ceux dépourvus de paroi, qui ont sans doute joué un rôle important dans l'évolution des cellules, comme on le verra plus loin.

2. PÉRIODE PRÉBIOTIQUE

Tout scénario décrivant l'origine de la vie doit inclure une étape initiale au cours de laquelle se sont élaborées, à partir du seul milieu minéral, les molécules biologiques élémentaires, c'est-à-dire les « briques » constituant les macromolécules (voir chapitre 1). Une question centrale à ce sujet est de savoir dans quelle mesure ces molécules ont une origine terrestre ou extraterrestre. Par la suite, se sont organisées des structures simples présentant certaines des caractéristiques de la vie, sans qu'on puisse toutefois les considérer comme des cellules modernes.

2.1. Origine des biomolécules primordiales

2.1.1. ORIGINE TERRESTRE

La première question qui se pose concernant l'apparition de la vie sur la Terre est celle du contexte, c'est-à-dire de la nature de son atmosphère primitive. L'étude des autres planètes et diverses considérations géochimiques conduisent actuellement à penser que celle-ci devait être riche en H_2 , N_2 , CO , CO_2 et H_2O . Le premier de ces gaz, très léger, s'est progressivement échappé du champ de gravitation terrestre, ne laissant plus que des gaz neutres ou oxydés. Si la nature exacte de cette atmosphère reste inconnue, il est certain qu'elle ne contenait pas d' O_2 , car il n'existe pas de mécanisme susceptible de faire apparaître ce gaz sur la Terre primitive ; de plus, les sédiments les plus anciens (– 3,8 à – 2 milliards d'années) contiennent du fer sous la forme fer ferreux, qui n'a pu se déposer que dans une atmosphère réductrice ou neutre. Il faut enfin signaler que l'on a longtemps imaginé que cette atmosphère était riche en gaz tels que NH_3 ou CH_4 , et donc hautement réductrice ; ce point sera discuté lors de l'étude expérimentale de l'origine des molécules prébiotiques.

Les gaz présents sur la Terre primitive sont relativement inertes et ne peuvent être à l'origine de molécules organiques que lorsqu'ils sont excités par d'intenses sources d'énergie permettant leur interaction chimique. Parmi celles disponibles alors sur la Terre, les plus efficaces étaient représentées par les radiations lumineuses (en particulier les UV qui n'étaient pas arrêtés par une atmosphère alors dépourvue d'ozone), et par les décharges électriques issues des orages, supposés nombreux à cette époque. À la suite des travaux et de la réflexion des pionniers des études sur l'origine de la vie (A. OPARIN et J.B. HALDANE, dans les années 20 et 30), les biochimistes étaient convaincus que l'on pouvait fabriquer les molécules élémentaires de la vie dans des conditions abiotiques. Il revient à S. MILLER d'avoir conduit, en 1953, la première expérience démontrant qu'il était possible de faire apparaître une grande diversité de molécules organiques à partir d'un mélange gazeux et d'une source d'énergie censés exister sur la Terre primitive. L'encart suivant décrit cette expérience fameuse.

De nombreuses expériences de ce genre, dans lesquelles on fait varier la nature des mélanges gazeux et des sources d'énergie, sont encore conduites ; elles démontrent que l'on peut synthé-

ENCART HISTORIQUE

L'expérience de S. MILLER sur l'origine abiotique des biomolécules

Après avoir enfermé dans une enceinte close (dont le montage est donné dans la *figure 16.1*) un mélange gazeux composé de CH_4 , NH_3 , H_2 et H_2O , censé représenter l'atmosphère terrestre primitive, cet auteur soumet ce mélange à des décharges électriques continues pendant plusieurs jours. Des échantillons prélevés dans la phase aqueuse du montage montrent alors que 15 % du carbone initial sont passés sous forme organique dissoute et que les molécules obtenues sont constituées d'acides organiques et d'acides α aminés. Parmi ceux-ci, on identifie de nombreux composés typiques des cellules actuelles : glycine, alanine, valine, acide aspartique, leucine, acide acétique, acide lactique, acide succinique, formaldéhyde, etc. Ce résultat est surprenant car on obtient, avec un rendement important, un nombre limité de composés qui sont pour la plupart de type biologique.

Parmi les composés non biologiques abondants, on note la présence d'une grande quantité d'acide cyanhydrique (HCN) et de molécules voisines qui sont à la base, avec le formaldéhyde (HCHO), de chaînes de réactions formant des acides aminés simples, des sucres et des bases puriques (adénine). La chimie de cette famille de composés formés de H, C et N, riches en triples liaisons et très réactifs, est maintenant bien connue. Malgré son intérêt historique indéniable, la portée de cette expérience est actuellement remise en question car il est acquis que l'atmosphère primitive était beaucoup moins riche en gaz réducteurs (CH_4 et NH_3) que le mélange utilisé par Miller. Or, dans des conditions moyennement ou peu réductrices, les biomolécules qui apparaissent sont beaucoup moins abondantes et moins diversifiées.

tiser, selon les conditions expérimentales, la plupart des biomolécules élémentaires connues. Cependant, des problèmes chimiques graves subsistent :

- 1) les réactions décrites sont souvent incompatibles les unes avec les autres ;
- 2) quelques acides aminés (Arg., Lys., His.) n'ont jamais pu être obtenus ;
- 3) certains composés (parmi les sucres) ne sont stables que s'ils sont liés à d'autres molécules.